



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn
<http://www.ssk.de>

**Quellterme und frühe Schutzmaßnahmen bei
Kernkraftwerksunfällen mit unklarer Lage**

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 300 Sitzung der Strahlenschutzkommission am 27./28. Juni 2019

INHALT

Vorwort	3
1 Hintergrund	4
2 Beratungsauftrag	4
3 Empfehlungen.....	5
4 Wissenschaftliche Begründung	9
4.1 Einleitung	9
4.2 Abschätzung von Quelltermen mit und ohne FaSTPro	11
4.3 Vorgehen nach dem HERCA/WENRA-Konzept.....	13
4.4 Beantwortung der Fragen des Beratungsauftrags	15
5 Literatur	21
6 Glossar	23

Vorwort

Die Regelungen für den radiologischen Notfallschutz des 2017 erlassenen Strahlenschutzgesetzes sehen vor, dass das radiologische Lagezentrum (RLZ) des Bundes im Falle eines schweren Kernkraftwerkunfalls die Aufgabe übernimmt, das radiologische Lagebild zu erstellen. Für die Erstellung des radiologischen Lagebildes werden in der Regel Prognosen des beim Unfall erwarteten Quellterms benötigt.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat 2018 im Rahmen eines Beratungsauftrages die Strahlenschutzkommission (SSK) um eine Einschätzung gebeten, wie in einem sehr frühen Stadium eines Kernschmelzunfalls vorgegangen werden soll, wenn die Lage noch unklar ist und noch keine Informationen über den erwarteten Quellterm der Freisetzungen vorliegen.

An der Erarbeitung der resultierenden Empfehlung haben als Mitglieder einer Arbeitsgruppe des Ausschusses „Notfallschutz“ mitgewirkt:

- Herr Dipl.-Ing. Steffen Birkefeld, PreussenElektra GmbH, Hannover
- Herr Dr. Florentin Lange, Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Köln (i. R.)
- Herr Prof. Dr. Rolf Michel, Universität Hannover (i.R.)
- Herr Hans Springer, Ministerium für Inneres, Digitalisierung und Migration, Baden-Württemberg
- Herr Dipl.-Chem. Christoph Thelen, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin
- Frau Dipl.-Ing. Natalie Zander, Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg

Prof. Dr. Rolf Michel

Dipl.-Phys. Jürgen Kopp

Prof. Dr. Joachim Breckow

Vorsitzender der Arbeits-
gruppe „Radiologischer
Notfallschutz“

Vorsitzender des Ausschusses
„Notfallschutz“

Vorsitzender der
Strahlenschutzkommission

1 Hintergrund

Im Rahmen der Umsetzung der neuen gesetzlichen Regelungen (StrlSchG 2017) für den radiologischen Notfallschutz wird das radiologische Lagezentrum (RLZ) des Bundes im Falle eines überregionalen radiologischen Notfalls (hier eines schweren Kernkraftwerksunfalls) die Aufgabe übernehmen, das radiologische Lagebild zu erstellen. Das Lagebild ist an die Länder und an das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ) im Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) sowie an die im allgemeinen Notfallplan des Bundes festgelegten obersten Bundesbehörden zu übermitteln.

Die Erstellung des radiologischen Lagebildes soll in der Regel ausgehend von Prognosen des beim Unfall erwarteten Quellterms in Verbindung mit RODOS-Vorhersagen erfolgen. Die RODOS-Vorhersagen erlauben Aussagen über die räumliche und zeitliche Entwicklung der Kontamination der Umwelt sowie über die erwarteten Strahlenexpositionen auf allen relevanten Expositionspfaden, aufgrund derer dann Empfehlungen für Schutzmaßnahmen möglich sind.

Mit dem unwahrscheinlichen Fall, dass Prognosen des Quellterms – aus welchen Gründen auch immer – nicht zur Verfügung stehen, befasst sich der vorliegende Beratungsauftrag.

2 Beratungsauftrag

In der Empfehlung „Prognose und Abschätzung von Quelltermen bei Kernkraftwerksunfällen“ aus dem Jahr 2014 empfiehlt die SSK, dass der Betreiber im Ereignisfall zwei mittels FaSTPro (damals QPro) ermittelte Quellterme (den wahrscheinlichsten Quellterm und den Quellterm mit der höchsten Aktivitätsfreisetzung, dessen Wahrscheinlichkeit 10 % übersteigt) an die zuständige Katastrophenschutzbehörde meldet. Am 23. Januar 2018 bat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) die Strahlenschutzkommission (SSK), in diesem Zusammenhang folgende Anschlussfragen zu beantworten:

- a. Es ist denkbar, dass FaSTPro nicht zur Verfügung steht (z. B. station blackout) oder aus anderen Gründen (fehlende Eingabeparameter) einen trivialen Quellterm liefert. Was ist unter solchen Umständen ein geeigneter Default-Quellterm für das radiologische Lagebild? Ist es in frühen Phasen eines Ereignisses in einer Anlage mit typischerweise großer Latenzzeit gerechtfertigt, Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung auf reasonable worst case Annahmen aufzubauen? Ist aus Sicht der SSK der NERDA-Ansatz (in der vorliegenden Empfehlung HERCA/WENRA-Konzept genannt), dessen Weiterentwicklung und Einführung in der Empfehlung der SSK „Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima“ (BAnz AT 04.01.2016 B3) empfohlen wurde, eine sinnvolle Vorgehensweise in einem derartigen Fall?
- b. Wenn FaSTPro nichttriviale Quellterme liefert, muss im Radiologischen Lagezentrum (RLZ) entschieden werden, ob das radiologische Lagebild auf dem wahrscheinlichsten Quellterm oder auf dem Quellterm mit der höchsten Aktivitätsfreisetzung, dessen Wahrscheinlichkeit 10 % übersteigt, beruhen soll. Welcher der beiden Quellterme ist zu bevorzugen? Welche Kriterien empfiehlt die SSK für die Auswahl des Quellterms, der als Grundlage für das einheitliche Radiologische Lagebild verwendet wird?

3 Empfehlungen

Die nachstehenden Empfehlungen beziehen sich auf das Vorgehen bei der Erstellung des radiologischen Lagebildes und der Entscheidung über frühe Schutzmaßnahmen, d. h. Evakuierung, Aufenthalt in Gebäuden, Iodblockade, bei einem (drohenden) Kernschmelzunfall in einem deutschen oder ausländischen Kernkraftwerk in Fällen, in denen nur unvollständige und unzureichende Information über den Anlagenzustand und den erwarteten Unfallablauf vorliegen.

Grundsätzlich gilt, dass bei jeder Schutzmaßnahme zu prüfen ist, ob sie notwendig, durchführbar, zumutbar und zielführend ist und ob der durch sie erzielbare Nutzen den durch sie gegebenenfalls verursachten Schaden aufwiegt.

Die SSK empfiehlt:

Empfehlung 1: Wenn nach einem Katastrophenalarm nur unvollständige Information oder lediglich Prognosen verfügbar sind, empfiehlt die SSK dem Grundsatz zu folgen, Schutzmaßnahmen für den wahrscheinlichsten Unfallablauf durchzuführen und gleichzeitig die Maßnahmen für den Unfallablauf mit der höchsten anzunehmenden Radioaktivitätsfreisetzung vorzubereiten. Bei Vorliegen von Quelltermprognosen ist für den wahrscheinlichsten Unfallablauf der Quellterm mit der höchsten relativen Wahrscheinlichkeit zu Grunde zulegen. Für den Unfall mit der höchsten anzunehmenden Radioaktivitätsfreisetzung ist der Quellterm, dessen relative Wahrscheinlichkeit 10 % übersteigt, anzunehmen.

Empfehlung 2: Bei einem drohenden oder erfolgten Kernschmelzunfall im Inland oder im Ausland in weniger als 200 km Abstand zur Grenze, ist in der Vorfreisetzungsphase wie folgt vorzugehen:

Beim Vorliegen von Quelltermprognosen sind unter Beachtung der Empfehlung 1 die frühen Schutzmaßnahmen für den wahrscheinlichsten Unfallablauf nach den RODOS-Vorhersagen durchzuführen. Unabhängig von Quelltermprognosen können die potenziell betroffenen Gebiete sowie die Ankunftszeiten einer radioaktiven Wolke mittels einer Ausbreitungsrechnung für die radioaktiven Edelgase prognostiziert werden.

Sind keine Quelltermprognosen oder nur unplausible Informationen verfügbar, ist nach dem HERCA/WENRA-Konzept (HERCA-WENRA 2014), den Empfehlungen der SSK zu Planungsgebieten (SSK 2014a) und der Empfehlung der SSK „Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima“ (SSK 2015) unter Beachtung der Empfehlung 1 vorzugehen. Dabei ist als wahrscheinlichster Unfallablauf die ungefilterte Druckentlastung und als schwerwiegendster Unfallablauf das unbedeckte Dampferzeugerheizrohrleck anzunehmen. Dies bedeutet, dass für das radiologische Lagebild der Quellterm für Ereignisklasse II¹ als wahrscheinlichster Quellterm und als schwerwiegendster Quellterm der für Ereignisklasse III gemäß Tabelle 1 anzunehmen ist.

¹ Mögliche Unfallabläufe werden in dieser Empfehlung in Anlehnung an die judgement evaluation Faktoren (JEFs) nach HERCA-WENRA in vier Ereignisklassen eingeteilt (HERCA-WENRA 2014), siehe hierzu Abschnitt 4.3.

Tab. 1: Anzunehmende Quellterme für die Ereignisklassen II und III.

Ereignis- klasse	Edelgase in Bq	I-131 in Bq	Cs-137/134 in Bq
II	3E18	3E16	3E14
III	3E18	3E17	3E16

In Bezug auf die frühen Schutzmaßnahmen, d. h. Evakuierung, Aufenthalt in Gebäuden und Iodblockade, empfiehlt die SSK ein differenziertes Vorgehen gemäß den Tabellen 2 und 3. Es wird unterschieden, ob noch Stunden bis zur Freisetzung zur Verfügung stehen (Tabelle 2) oder ob die Freisetzung unmittelbar bevorsteht oder sogar schon begonnen hat (Tabelle 3). Die Entscheidung für den Umfang früher Schutzmaßnahmen hängt jeweils von den meteorologischen Bedingungen ab und auch davon, ob Ausbreitungsrechnungen zur Verfügung stehen.

Anmerkung 1: Die Gebiete, in denen nach Tabelle 2 und 3 Maßnahmen vorbereitet oder durchgeführt werden, sollten an die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten wie Geländestruktur, Besiedlungsverhältnisse und Verwaltungsbereichsgrenzen angepasst werden.

Anmerkung 2: In jedem Fall ist die Situation weiterhin intensiv zu beobachten und das Lagebild gegebenenfalls anzupassen. Wenn RODOS verfügbar ist, sollte Ereignisklasse II als wahrscheinlichster Quellterm angenommen werden. Sollten die Ausbreitungsrechnungen aufgrund der Wetterlage größere Gebiete für frühe Schutzmaßnahmen als in Tabelle 2 und 3 ausweisen, so empfiehlt die SSK die Schutzmaßnahmen auf diese größeren Gebiete auszuweiten.

Tab. 2: Empfehlungen für frühe Schutzmaßnahmen für den Fall, dass noch Stunden bis zur Freisetzung verbleiben.

	wahrscheinlichster Unfallablauf Ereignisklasse II	schwerwiegendster Unfallablauf Ereignisklasse III
Immer	Im 5 km-Radius ist die Evakuierung durchzuführen, falls die dafür benötigte Zeit bis zum prognostizierten Beginn der Freisetzung für die Evakuierung ausreicht. Ansonsten sind die Maßnahmen Iodblockade, Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung vorzubereiten.	
Windrichtung instabil	Im 20 km-Umkreis sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten.	- Im 20 km-Umkreis sind die Maßnahmen Iodblockade, Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung¹⁾ vorzubereiten - Im 100 km-Umkreis sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten - Im 200 km-Umkreis ist die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten
Windrichtung stabil	Im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten.	- Im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung sind die Maßnahmen Iodblockade, Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung¹⁾ vorzubereiten - Im 100 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten - Im 200 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung ist die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten
Windrichtung stabil und Ausbreitungsrechnungen vorliegend	Bis zu 20 km sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren vorzubereiten.	- Bis zu 20 km sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren die Maßnahmen Iodblockade, Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung¹⁾ vorzubereiten - Bis zu 100 km sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten - Bis zu 200 km sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten

¹⁾ Das Erfordernis einer späteren Evakuierung hängt u. a. von der nach Durchzug der Wolke gemessenen Ortsdosisleistungen (ODL) ab.

Tab. 3: Empfehlungen für frühe Schutzmaßnahmen für den Fall, dass die Freisetzung unmittelbar bevorsteht oder bereits begonnen hat.

	wahrscheinlichster Unfallablauf Ereignisklasse II	schwerwiegendster Unfallablauf Ereignisklasse III
Immer	Im 5 km-Umkreis sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung ¹⁾ vorzubereiten.	
Windrichtung instabil	Im 20 km-Umkreis sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen.	- Im 20 km-Umkreis sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung¹⁾ vorzubereiten - Im 100 km-Umkreis sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden mindestens vorzubereiten - Im 200 km-Umkreis ist die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten
Windrichtung stabil	Im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen.	- Im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung¹⁾ vorzubereiten - Im 100 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden mindestens vorzubereiten - Im 200 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung ist die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten
Windrichtung stabil und Ausbreitungsrechnungen vorliegend	Bis 20 km sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren durchzuführen.	- Bis zu 20 km sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung¹⁾ vorzubereiten - Bis zu 100 km sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden mindestens vorzubereiten - Bis zu 200 km sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten

¹⁾ Das Erfordernis einer späteren Evakuierung hängt u. a. von der nach Durchzug der Wolke gemessenen ODL ab.

- Empfehlung 3:** Wenn bei der Alarmierung ein schneller Ablauf des Unfalls angekündigt wird oder wenn bei der Alarmierung die Freisetzung bereits begonnen hat, ist die Maßnahme Evakuierung der 5 km-Zentralzone aus radiologischer Sicht nicht vertretbar. In diesem Fall bleiben nur die Durchführung der Maßnahmen Aufenthalt in Gebäuden und, falls eine Vorverteilung von Iodtabletten erfolgt ist, die Iodblockade. Die Evakuierung kann dann erst nach Ende der Freisetzung bzw. nach Durchzug der radioaktiven Wolke auf der Grundlage gemessener Ortsdosisleistungen erfolgen.
- Empfehlung 4:** Bei einem drohenden oder erfolgten Kernschmelzunfall im europäischen Ausland ist in der Vorfreisetzungsphase gemäß Empfehlung 2 vorzugehen. Für den Fall, dass keine Quelltermprognosen aus dem Ausland übermittelt wurden, sollte ungefilterte Druckentlastung, d. h. Ereignisklasse II, als wahrscheinlichster Unfallablauf und Ereignisklasse III als schwerwiegendster Unfallablauf angenommen werden.
- Empfehlung 5:** Bei einem drohenden oder erfolgten Kernschmelzunfall im weiter entfernten Ausland (mehr als 200 km) ist in der Vorfreisetzungsphase wie folgt vorzugehen. Es ist nicht zu erwarten, dass aufgrund eines Kernschmelzunfalls im weiter entfernten Ausland, in Deutschland frühe Schutzmaßnahmen erforderlich werden. Daher entfällt die Dringlichkeit, die die Vorfreisetzungsphase charakterisiert. Die Notwendigkeit und Eignung von Schutzmaßnahmen sollte auf der Grundlage von Prognosen oder Messungen der Radioaktivität in der Umwelt unter Beteiligung des SSK-Krisenstabs oder der SSK geprüft werden.

4 Wissenschaftliche Begründung

4.1 Einleitung

Die vorliegende Empfehlung zur Auswahl von Quelltermen für die Erstellung des radiologischen Lagebildes und für frühe Schutzmaßnahmen soll eine reflexartige Reaktion auf einen Kernkraftwerksunfall bei unzureichender Information ermöglichen. Die Zeit zwischen dem Erreichen der Kriterien zur Auslösung eines Katastrophenalarms (RSK und SSK 2013) und dem Beginn der Freisetzungen kann zwischen wenigen Stunden und mehreren Tagen dauern.

Sobald Freisetzungen erfolgen und erste Daten der unfallbedingten Umweltradioaktivität verfügbar sind, liegt auch (indirekte) Information über den Quellterm vor. Dann sollte über weitere Maßnahmen auf der Grundlage der gemessenen Daten entschieden werden.

In ihrer Empfehlung von 2014 (SSK 2014b) hat die SSK im Hinblick auf die Verpflichtung des Betreibers zur Quelltermprognose festgestellt:

„Die Mitwirkung des Betreibers bei der Lageermittlung und die hierbei zu übermittelnden Informationen sind in den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz (BMU 2008) festgelegt.

Entsprechend den Vorgaben in den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz hat der Betreiber sowohl Quellterme zu prognostizieren als auch anfängliche Prognosen mit verfügbaren Messdaten zu verbessern.

- *Eine erste Prognose des Quellterms hat dabei im Rahmen einer nach der Alarmierung erforderlichen Lageeinschätzung zu erfolgen.*

- „Sobald belastbare Messdaten und Emissionsdaten des Betreibers oder des KfÜ vorliegen, sind diese zur Verbesserung der Prognose heranzuziehen.“ (Abschnitt 4.3.1 in BMU 2008)
- „Während der Freisetzungsphase sind Messungen zur Quelltermüberprüfung Aufgabe der Betreiber messdienste und ihrer Messsysteme.“ (Abschnitt 4.3.2 in BMU 2008)

Art und Umfang der zu liefernden Informationen zum Quellterm sind in den Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz (Anhang 7.4 zu BMU 2008) näher bestimmt. Dabei wird zwischen der Vorfreisetzungsphase und der Phase nach Beginn der Freisetzungen unterschieden. In der Vorfreisetzungsphase sind als quelltermbezogene Informationen u. a. zu übermitteln:

- „geschätzter Zeitpunkt des Beginns der Freisetzung (Vorlaufzeit)
- Prognose zum zeitlichen Verlauf der Freisetzung
- erwarteter Umfang der Freisetzung und die mögliche Zusammensetzung der Emission (Edelgase/Iod/Schwebstoffe)
- Aussagen zum möglichen Freisetzungsweg (Freisetzung über den Kamin oder andere erwartete Wege mit Angabe der Freisetzungshöhe)“.

Die SSK hat weiterhin empfohlen, im Notfallzentrum des Betreibers ein Rechenprogramm zur Verfügung zu haben, mit dem die voraussichtlichen Quellterme möglichst frühzeitig vorhergesagt werden können (SSK 2014b).

„Folgende Anforderungen soll das Rechenprogramm erfüllen:

- Das Verfahren soll die Analysen und Ergebnisse der anlagenspezifischen PSA (Probabilistische Sicherheitsanalyse) der Stufe 2 und den aktuellen Zustand der Anlage im Ereignisfall als Grundlagen nutzen. Zur effizienteren Anwendung des Verfahrens ist zu prüfen, ob und ggf. welche Anlagenparameter automatisch erfasst und vom System verwendet werden können.
- Das Verfahren soll auch bei lückenhaften Kenntnissen über den Anlagenzustand anwendbar sein.
- Die Anforderungen an die Bedienungsfreundlichkeit und einfache Anwendbarkeit durch den Nutzer sollen gewährleisten, dass das Programm auch unter Unfallbedingungen fehlerfrei genutzt werden kann.
- Die im Ereignisfall bestehende Unsicherheit über den Verlauf eines Unfalls soll durch entsprechende Wahrscheinlichkeitsangaben zu Abläufen und zugehörigen Quelltermen berücksichtigt werden.
- Es soll die für die Berechnung der Strahlenexposition relevante Nuklidzusammensetzung angegeben werden. Ferner sind die Freisetzungshöhe über Grund und möglichst der thermische Energieinhalt der Freisetzung anzugeben.

Der jeweils wahrscheinlichste Quellterm sowie der Quellterm mit der höchsten Aktivitätsfreisetzung, dessen Wahrscheinlichkeit 10 % übersteigt, sollen durch den Betreiber an die zuständige Katastrophenschutzbehörde gemeldet werden.

Da die derzeitigen im Rahmen der PSÜ erstellten PSA der Stufe 2 nur Unfälle im Reaktorkern aus dem Leistungsbetrieb und nur vorgeplante Notfall- bzw. Reparaturmaßnahmen umfassen, wird ergänzend empfohlen:

- Sofern im Unfallablauf situationsbedingte, nicht vorgeplante Notfallmaßnahmen oder Reparaturen durchgeführt werden, sind die erstellten Quelltermprognosen durch den Betreiber entsprechend anzupassen.“

4.2 Abschätzung von Quelltermen mit und ohne FaSTPro

Folgende Methoden stehen grundsätzlich für die Quelltermprognose zur Verfügung:

- Expertenschätzungen auf der Grundlage von Vorausrechnungen von Unfallabläufen, zusammengefasst in Tabellen oder Handbüchern
- Schnelllaufende Simulationsmethoden (nur für geübte Anwender geeignet)
- Probabilistische Methoden auf Basis der anlagenspezifischen PSA (FaSTPro) Für Anlagen im Inland werden derzeit zwei dieser Methoden zur Quelltermprognose angewandt, das Programm FaSTPro und ein auf Experteneinschätzungen beruhendes Vorgehen.

Quelltermprognose-Programm FaSTPro (früher QPro)

FaSTPro wird nur bei einem schweren Unfall mit erwartetem oder bereits eingetretenem Kernschaden eingesetzt. Das Grundprinzip von FaSTPro ist die Nutzung von PSA der Stufe 2 (im Folgenden PSA 2), die eine verbesserte Quelltermprognose ohne großen zusätzlichen Aufwand ermöglicht. Zusätzlich werden Beobachtungen und Messungen zur Anpassung der PSA-Ergebnisse an den aktuellen Anlagenzustand ausgewertet. Die Zusammenführung von Beobachtungen einerseits und PSA 2-Ergebnissen andererseits zur Berechnung des Ergebnisses ist der Kern der Software. Als Endergebnis werden verschiedene mögliche Quellterme und ihre Wahrscheinlichkeiten ausgegeben.

Alle Anlagen in Deutschland verfügen inzwischen über PSA 2, d. h. es existieren Information über die verschiedenen Unfallabläufe und ihre Wahrscheinlichkeit. Eine PSA 2 liefert verschiedene Quellterme, abhängig vom Unfallablauf. Die Ergebnisse der PSA 2 werden in Form eines Bayesian Belief Network anhand der aktuellen Information modifiziert.

Ein besonderes Problem der Quelltermprognose ist die Berechnung von I-131-Anteilen in aerosolförmiger bzw. elementarer Form. Vorhersagen erfolgen bisher über den Integralcode MELCOR (Freisetzungen in Stoffklassen, CsI (Aerosol aus Kern)). MELCOR berücksichtigt die Chemisorption von CsI an den Oberflächen die zur Freisetzung von elementarem I₂ führt. Es berücksichtigt aber nicht die Iod-Chemie im Sumpf. Wenn keine MELCOR-Rechnungen vorliegen, wird in FaSTPro folgende Iod-Verteilung angenommen: 99 % aerosolförmiges Iod, 1 % elementares Iod. Zur Dynamik der Erzeugung von Organoiod-Verbindungen im Reaktor gibt es bislang kaum Erkenntnisse.

FaSTPro läuft auf Standard-Windows-Rechnern bei entsprechender Stromversorgung, es sind keine speziellen Anforderungen notwendig. Ein Ausfall ist kurzfristig denkbar bei Hardwaredefekten (z. B. Monitor, Tastatur, Festplatte) oder bei Softwarefehlern (z. B. BIOS, Updates, DLL-Bibliotheken, Viren). Um die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls zu minimieren, könnte ein Reservelaptop oder USB-Stick mit FaSTPro-Installation vorgehalten werden. Mit Ausnahme der Blöcke KKP 2 und GKN II wird in deutschen Kernkraftwerken FaSTPro benutzt.

Quelltermprognose mittels Expertenschätzung

Für KKP 2 und GKN II der EnBW (Energie Baden-Württemberg AG) werden die wahrscheinlichsten und der radiologisch schwerwiegendste Quellterm aus den Ergebnissen der PSA 2 durch ein Analyseteam des Betreibers auf der Grundlage einer umfangreichen Quelltermbibliothek unter Berücksichtigung der Auswirkungen möglicher mitigativer Maßnahmen geschätzt.

Zur Schätzung der Quellterme hat der Betreiber ein spezielles Konzept entwickelt. Die Einsatzeinheit für schwere Störfälle ist zuständig für die Quelltermprognose, sie hat anlagenspezifische Quelltermbibliotheken erstellt. Diese detaillierten Quellterme sind auch auf Seiten

der Aufsichtsbehörde implementiert worden. Die Quellterme wurden mit Rechencodes der PSA der Stufe 2, deren Parameter u. a. mit MELCOR validiert wurden, und anlagenspezifischen Eingangsdaten ermittelt. Der Rechencode wurde mit einem neuen Organoiod-Modell erweitert. Die Rechnungen wurden für beide Anlagen mit realem Kerninventar (mit 61 Nukliden) zusammengefasst in Nuklidgruppen mit vereinfachter Berücksichtigung der Zerfallsketten durchgeführt. Aus diesen Ergebnissen wurden 13 Basisszenarien und zusätzlich 16 Unterszenarien ausgewählt. Alle Daten sind in umfangreiche Excel-Tabellen mit zusätzlichen Makrofunktionen nutzbar, so dass die Daten als Input für Ausbreitungsprogramme verwendbar sind. Die in den Szenarien modellierten Quellterme beginnen mit dem angenommenen Zeitpunkt beginnender Kernschäden nach Reaktorschnellabschaltung. Dieser Zeitpunkt wurde bei allen Szenarien aus Gründen der Konservativität möglichst früh gewählt und entspricht nicht dem wahrscheinlichsten Zeitpunkt beginnender Kernschäden. Im Ereignisfall ist es möglich, den tatsächlichen Zeitpunkt beginnender Kernschäden mittels der integrierten Makrofunktionen zu modifizieren, um damit die Zerfallskorrekturen für den resultierenden Quellterm zu berücksichtigen.

Für die Arbeit der Einsatzeinheit wurde eine Arbeitsunterlage erstellt, die u. a. einfache Ablaufdiagramme, Hinweise zur Auswahl eines erwarteten Quellterms, Hinweise zur Auswahl eines folgeschwersten Quellterms sowie eine Ausfüllhilfe für den radiologischen Lagebericht enthält. Für die Einsatzeinheit stehen Ordner mit allen relevanten Dokumenten zur Verfügung. Da alle notwendigen Dokumente auf der Anlage und der Ausweichstelle sowie bei der Aufsichtsbehörde in Papierform vorliegen, ist eine Nichtverfügbarkeit des Systems nicht denkbar.

Beim Vergleich der Quellterme der EnBW mit den Referenzquelltermen FKA, FKI und FKF sieht man eine große Bandbreite bzgl. der zu erwartenden Freisetzungen für das gleiche Szenario. Dies kommt u. a. durch unterschiedliche Annahmen im modellierten Unfallablauf (insbesondere bei FKA), Annahmen für Inventar (Beladepläne, Geometrie, Abbrandzeiten, Reaktorleistung im Zyklus), Annahmen für Freisetzungszeit und -dauer (Zerfallskorrekturen) und Annahmen der Auslegungsleckage Containment. Der Vergleich der EnBW-Quellterm-datenbank mit der RODOS-Quelltermdatenbank zeigt

bei gefilterter Druckentlastung:

- RODOS liefert insgesamt etwas höhere Emissionen als die EnBW-Referenzquellterme.
- RODOS liefert infolge der Berücksichtigung von Organoiod eine erhöhte Iodfreisetzung.
- Es gibt Unterschiede zwischen KKP 2 und GKN II insbesondere wegen unterschiedlicher Inventare. Für beide Anlagen wurde ein Ende-Zyklus-Inventar aus einem der letzten Zyklen verwendet. Da in KKP 2 vor Zyklusende ein längerer Streckbetrieb mit reduzierter Leistung vorlag, sind die Anteile kurzlebiger Radionuklide hier deutlich geringer.

Bei ungefilterter Druckentlastung:

- Die Berechnung mit den EnBW-Referenzquelltermen ergeben etwas höhere Iod-Freisetzungen und niedrigere Cs-Emissionen.
- Bei Unfällen mit unbedecktem Dampferzeugerheizrohrleck liefern die Berechnungen mit den EnBW-Referenzquelltermen Freisetzungen im Bereich der von der PSA 2 vorhergesagten Werte und liegen damit deutlich höher als mit der in der RODOS-Datenbank verwendeten FKA-Variante berechneten.

Die in den Quelltermen verwendeten Behandlung der Iod-Chemie führt im Vergleich zu den früheren Vorhersagen (z. B. FaSTPro) zu einem Verhältnis $I_2/RI = 2:1$ (RI: organische Iodverbindungen) im Containment, wobei insgesamt nur 2 % als Gas und 98 % als CsI vorliegen. Durch die sehr unterschiedlichen Dekontaminationsfaktoren der Venturi-Nassfilter für die drei Formen von Iod ergibt sich daraus für Szenarien mit gefilterter Druckentlastung sogar eine dominierende Freisetzung von Organoiod.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass letztlich alle Prognosen von Quelltermen auf angenommenen, vorliegenden Gefährdungszuständen und sich daraus ergebenden Unfallabläufen beruhen. Basis sind jeweils die Ergebnisse der PSA 2, die entweder durch mathematische Operationen oder durch Expertenwissen modifiziert werden. Die Berücksichtigung mitigativer Maßnahmen oder Reparaturprognosen führt in der Regel zu einem anderen Quellterm (Beispiel: Wiederauffüllen defekter Dampferzeuger). Für die EnBW-Anlagen geschieht dies auf Basis der Expertenschätzung. Entsprechende Erweiterungen in FaSTPro werden zurzeit untersucht.

Die vorhergesagten Quellterme selbst sind jedoch „worst case“-Analysen auf Basis der PSA 2 und einem unterstellten festen Unfallablauf, bei dem weitere mitigative Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes nicht berücksichtigt werden. Außerdem gibt es noch massive Defizite in der Modellierung der Freisetzung und im atmosphärischen Transport der verschiedenen Iod-Spezies bei einem Kernschmelzunfall. Für Anlagen im Ausland stehen FaSTPro-Rechnungen nicht zur Verfügung. Hier muss bei fehlender Information immer auf das HERCA/WENRA-Konzept zurückgegriffen werden.

4.3 Vorgehen nach dem HERCA/WENRA-Konzept

Das HERCA/WENRA-Konzept wurde für die schnelle Reaktion bei Kernkraftwerksunfällen bei Vorliegen unvollständiger Information entwickelt. Es soll das radiologische Lagezentrum in die Lage versetzen, reflexartig ein sinnvolles radiologisches Lagebild zu erstellen und radiologische Entscheidungsgrundlagen für Schutzmaßnahmen zu erarbeiten.

In Anlehnung an das HERCA/WENRA-Konzept werden Ereignisklassen 0, I, II und III (farbige Zeichen in Abbildung 1) anhand weniger Parameter festgelegt, die damit die im radiologischen Lagebild zugrunde zulegenden Quellterme bestimmen. Die Ereignisklasse legt dann unter Berücksichtigung der Dringlichkeit und der meteorologischen Bedingungen die Regeln für die Auswahl der frühen Schutzmaßnahmen fest. Für die Festlegung der HERCA/WENRA-Regeln werden drei Einschätzungen benötigt: die Ereignisklasse, der erwartete Freisetzungsbeginn und die Windrichtung mit der Unterscheidung stabil oder instabil. Anleitungen zur Festlegung der Ereignisklassen auf der Grundlage der verfügbaren Information sind in Abbildung 1 gegeben.

Die im HERCA/WENRA-Konzept für die verschiedenen Ereignisklassen anzunehmenden Quellterme sind in Tabelle 4 aufgeführt. Aussagen zu Freisetzungsdauern werden nicht gemacht.

a) Kernschaden
☐ wird nicht erwartet ⇒ □ 0
☐ wird in __ h erwartet ⇒ b)
☐ ist eingetreten oder steht unmittelbar ⇒ b)

b) Versagen des SB
☐ wird nicht erwartet ⇒ c)
☐ wird in __ h erwartet ⇒ □ III
☐ ist eingetreten oder steht unmittelbar ⇒ □ III

c) Druckentlastung des SB
☐ nicht erforderlich ⇒ □ 0
☐ gefiltert in ca. __ h ⇒ □ I
☐ ungefiltert in ca. __ h ⇒ □ II
☐ nicht verfügbar oder nicht wirksam ⇒ □ III

Abb. 1: Ableitung der Ereignisklasse durch drei Einschätzungen (a – c).

Tab. 4: Quellterme für die Ereignisklassen I – III.

Ereignisklasse ¹	Edelgase in Bq	I-131 in Bq	Cs-137/134 in Bq
I	3E18	3E15	3E11
II	3E18	3E16	3E14
III	3E18	3E17	3E16

¹ Retrospektiv entsprechen die Ereignisklassen I, II und III den INES Klassifizierungen 5, 6 und 7.

Zur Ermittlung der potenziell betroffenen Gebiete können RODOS-Rechnungen für radioaktive Edelgase herangezogen werden, da die Edelgase wie die Luftmassen in der Atmosphäre transportiert werden. Dabei sind die radioaktiven Edelgase nur bis zu einer Entfernung von 5km über Direktstrahlung aus der Wolke von radiologischer Relevanz. Die radiologische Relevanz der radioaktiven Edelgase wird außerdem verringert durch die überwiegend relativ kurzen Halbwertzeiten.

Falls RODOS-Rechnungen verfügbar sind, so sollten bei ansonsten fehlender Information die in Tabelle 4 angegebenen Quellterme für Iod- und Cs-Radionuklide zur Erstellung des radiologischen Lagebildes verwendet werden.

Sollten auch RODOS-Rechnungen nicht verfügbar sein, sollten die Quellterme nach Tabelle 4 angenommen werden und nach dem HERCA/WENRA-Konzept, wie in Empfehlung 2 im Detail dargestellt, vorgegangen werden.

Für die Umsetzung in die Praxis ist folgendes wichtig. Für die Ereignisklasse 0 sind keine frühen Schutzmaßnahmen erforderlich, da es sich bei dieser Ereignisklasse um einen Auslegungsstörfall handelt. Der wahrscheinlichste Unfallablauf bei einem Unfall im Inland ist die gefilterte Druckentlastung. Dies bedeutet Ereignisklasse I, für die im HERCA/WENRA-Konzept die gleichen frühen Schutzmaßnahmen wie für Ereignisklasse II vorgesehen sind. Zudem kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden, ob die Filterung zur Verfügung steht. Daher wird hier vorsorglich die ungefilterte Druckentlastung (Ereignisklasse II) angenommen. Der ungünstigste Unfallablauf ist der Ereignisklasse III zugeordnet. Die Ergebnisse der PSA 2 berechnen für Unfallabläufe der Ereignisklasse III, mit Ausnahme des unbedeckten Dampferzeugerheizrohrlecks, relative Wahrscheinlichkeiten deutlich unter 1 %.

Die SSK empfiehlt dem Grundsatz zu folgen: „Tue das Wahrscheinliche und bereite Dich auf das Unwahrscheinliche vor!“ Daraus ergibt sich eine relativ einfache Vorgehensweise mit der Maxime, so zu handeln, als ob Ereignisklasse II eintreten würde, und sich auf die Ereignisklasse III vorzubereiten.

Dabei ist grundsätzlich bei jeder Schutzmaßnahme zu prüfen, ob sie notwendig, durchführbar, zumutbar und zielführend ist und ob der durch sie erzielbare Nutzen den durch sie gegebenenfalls verursachten Schaden aufwiegt. Die Erfahrungen aus dem Unfall von Fukushima Dai-ichi haben gezeigt, dass ohne derartige Prüfung durchgeführte Schutzmaßnahmen sogar zu Todesfällen führen können (NAIIC 2012, Yasumura 2014)

Empfehlung 1: Wenn nach einem Katastrophenalarm nur unvollständige Information oder lediglich Prognosen verfügbar sind, empfiehlt die SSK dem Grundsatz zu folgen, Schutzmaßnahmen für den wahrscheinlichsten Unfallablauf durchzuführen und gleichzeitig die Maßnahmen für den Unfallablauf mit der höchsten anzunehmenden Radioaktivitätsfreisetzung vorzubereiten. Bei Vorliegen von Quelltermprognosen ist für den wahrscheinlichsten Unfallablauf der Quellterm mit der höchsten relativen Wahrscheinlichkeit zu Grunde zulegen. Für den Unfall mit der höchsten anzunehmenden Radioaktivitätsfreisetzung ist der Quellterm, dessen relative Wahrscheinlichkeit 10 % übersteigt, anzunehmen.

Eine generelle Randbedingung muss dabei sein: Was können die Notfallschutzbehörden leisten? Welche Maßnahmen sind durchführbar, zumutbar und zielführend? Mit welchen Kollateralschäden ist zu rechnen?

Bei Unfällen in Kernkraftwerken im grenznahen Ausland sollte in gleicher Weise vorgegangen werden.

4.4 Beantwortung der Fragen des Beratungsauftrags

Was ist unter solchen Umständen ein geeigneter Default-Quellterm für das radiologische Lagebild?

Der bei weitem häufigste Unfallverlauf führt laut PSA 2 zur gefilterten Druckentlastung. Da aber nach dem HERCA/WERA-Konzept für die Ereignisklassen I und II die gleichen frühen Schutzmaßnahmen empfohlen werden, sollte vorsorglich ungefilterte Druckentlastung, d. h. Ereignisklasse II, als wahrscheinlichster Quellterm bei Unfällen im Inland für das radiologische Lagebild angenommen werden. Für Kernkraftwerke in den Nachbarstaaten ist – soweit nicht andere Information vorliegt – ebenfalls vorsorglich ungefilterte Druckentlastung anzunehmen und damit die Freisetzung von $3\text{E}16 \text{ Bq I-131}$ und $3\text{E}14 \text{ Bq Cs-134/137}$ zu unterstellen.

Ist es in frühen Phasen eines Ereignisses in einer Anlage mit typischerweise großer Latenzzeit gerechtfertigt, Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung auf reasonable worst case Annahmen aufzubauen?

Nein! Man soll danach handeln, was am wahrscheinlichsten ist (gefilterte bzw. ungefilterte Druckentlastung, d. h. Ereignisklasse I oder II) und sich auf das Schlimmste (unbedecktes Dampferzeugerheizrohrleck als Worst Case Szenario, d. h. Ereignisklasse III) vorbereiten. Die SSK weist darauf hin, dass unbegründete Maßnahmen auch zusätzliche Schäden verursachen können.

Ist aus Sicht der SSK der HERCA/WENRA-Ansatz, dessen Weiterentwicklung und Einführung in der SSK-Empfehlung „Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima“ [Banz AT 04.01.2016 B3] empfohlen wurde, eine sinnvolle Vorgehensweise in einem derartigen Fall?

Ja! HERCA/WENRA zeigt, dass es gar nicht so viele Optionen gibt, die im Sinne der SSK-Empfehlung zur „Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima“ gut einsetzbar sind.

Wenn FaSTPro nichttriviale Quellterme liefert, muss im Radiologischen Lagezentrum entschieden werden, ob das radiologische Lagebild auf dem wahrscheinlichsten Quellterm oder auf dem Quellterm mit der höchsten Aktivitätsfreisetzung, dessen Wahrscheinlichkeit 10 % übersteigt beruhen soll. Welcher der beiden Quellterme ist zu bevorzugen?

Für die Erstellung des radiologischen Lagebildes sollte gemäß Tabelle 1 Ereignisklasse II als wahrscheinlichster Quellterm gewählt werden und Ereignisklasse III als der schlimmste Fall vorbereitet werden.

Welche Kriterien empfiehlt die SSK für die Auswahl des Quellterms, der als Grundlage für das einheitliche Radiologische Lagebild verwendet wird?

Als wahrscheinlichsten Quellterm für Anlagen im Inland und im grenznahen Ausland sollte vorsorglich Ereignisklasse II (ungefilterte Druckentlastung) angenommen werden. Für Unfälle im Ausland sollte ebenfalls die ungefilterte Druckentlastung angenommen werden.

Die SSK empfiehlt daher folgendes Vorgehen:

1. Bei Unfällen in Deutschland sollte Ereignisklasse II als der wahrscheinlichste Fall angenommen und danach gehandelt werden. Als radiologisch schwerwiegendsten Fall sollten Notfallschutzmaßnahmen für Ereignisklasse III vorbereitet werden; siehe Empfehlung 3.
2. Das radiologische Lagebild sollte nach Ereignisklasse II festgelegt werden mit der Maßgabe, dass die Situation intensiv beobachtet wird, um das Lagebild gegebenenfalls anzupassen.
3. Es ist für jede erwogene Maßnahme zu prüfen, ob sie in der vorliegenden Situation notwendig, durchführbar, zumutbar und zielführend ist und mit welchen Kollateralschäden zu rechnen ist.
4. Unfälle im grenznahen Ausland sollten wie Unfälle im Inland behandelt werden, da die radiologische Gefährdung ähnlich ist und gegebenenfalls dieselben Maßnahmen wie im Inland erfordern.

Empfehlung 2: Bei einem drohenden oder erfolgten Kernschmelzunfall im Inland oder im Ausland in weniger als 200 km Abstand zur Grenze, ist in der Vorfreisetzungsphase wie folgt vorzugehen:

Beim Vorliegen von Quelltermprognosen sind unter Beachtung der Empfehlung 1 die frühen Schutzmaßnahmen für den wahrscheinlichsten Unfallablauf nach den RODOS-Vorhersagen durchzuführen. Unabhängig von Quelltermprognosen können die potenziell betroffenen Gebiete sowie die Ankunftszeiten einer radioaktiven Wolke mittels einer Ausbreitungsrechnung für die radioaktiven Edelgase prognostiziert werden.

Sind keine Quelltermprognosen oder nur unplausible Informationen verfügbar, ist nach dem HERCA/WENRA-Konzept (HERCA-WENRA 2014), den Empfehlungen der SSK zu Planungsgebieten (SSK 2014a) und der Empfehlung der SSK „Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima“ (SSK 2015) unter Beachtung der Empfehlung 1 vorzugehen. Dabei ist als wahrscheinlichster Unfallablauf die ungefilterte Druckentlastung und als schwerwiegendster Unfallablauf das unbedeckte Dampferzeugerheizrohrleck anzunehmen. Dies bedeutet, dass für das radiologische Lagebild der Quellterm für Ereignisklasse II als wahrscheinlichster Quellterm und als schwerwiegendster Quellterm der für Ereignisklasse III gemäß Tabelle 1 in Kapitel 3 anzunehmen ist.

In Bezug auf die frühen Schutzmaßnahmen, d. h. Evakuierung, Aufenthalt in Gebäuden und Iodblockade, empfiehlt die SSK ein differenziertes Vorgehen gemäß den Tabellen 2 und 3. Es wird unterschieden, ob noch Stunden bis zur Freisetzung zur Verfügung stehen (Tabelle 2) oder ob die Freisetzung unmittelbar bevorsteht oder sogar schon begonnen hat (Tabelle 3). Die Entscheidung für den Umfang früher Schutzmaßnahmen hängt jeweils von den meteorologischen Bedingungen ab und auch davon, ob Ausbreitungsrechnungen zur Verfügung stehen.

Im Einzelnen empfiehlt die SSK:

Verbleiben noch Stunden bis zur Freisetzung, so ist für den wahrscheinlichsten Unfallablauf wie folgt vorzugehen:

- Die Evakuierung im 5 km-Radius ist durchzuführen, falls die dafür benötigte Zeit bis zum prognostizierten Beginn der Freisetzung für die Evakuierung ausreicht. Ansonsten sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung instabil ist, sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden im 20 km-Umkreis vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung stabil ist, sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden lediglich im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung stabil ist und Ausbreitungsrechnungen vorliegen, sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden lediglich im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis zu 20 km vorzubereiten.

Verbleiben noch Stunden bis zur Freisetzung, so ist für den schwerwiegendsten Unfallablauf wie folgt vorzugehen:

- Die Evakuierung im 5 km-Radius ist durchzuführen, falls die dafür benötigte Zeit bis zum prognostizierten Beginn der Freisetzung für

die Evakuierung ausreicht. Ansonsten sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung vorzubereiten.

- Falls die Windrichtung instabil ist,
 - sind im 20 km-Umkreis die Maßnahmen Iodblockade, Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung vorzubereiten,
 - sind im 100 km-Umkreis die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten und
 - im 200 km-Umkreis die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung stabil ist,
 - sind im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung die Maßnahmen Iodblockade, Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung vorzubereiten,
 - sind im 100 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten und
 - ist im 200 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung stabil ist und Ausbreitungsrechnungen vorliegen,
 - sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis 20 km die Maßnahmen Iodblockade, Aufenthalt in Gebäuden und spätere Evakuierung vorzubereiten,
 - sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis zu 100 km die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden vorzubereiten und
 - ist im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis zu 200 km die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten.

Ist die Freisetzung unmittelbar bevorstehend oder hat schon begonnen, so ist für den wahrscheinlichsten Unfallablauf wie folgt vorzugehen:

- sind im 5 km-Umkreis die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung vorzubereiten,
- Falls die Windrichtung instabil ist, sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden im 20 km-Umkreis durchzuführen.
- Falls die Windrichtung stabil ist, sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung durchzuführen.

- Falls die Windrichtung stabil ist und Ausbreitungsrechnungen vorliegen, sind die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis zu 20 km durchzuführen.

Ist die Freisetzung unmittelbar bevorstehend oder hat schon begonnen, so ist für den schwerwiegendsten Unfallablauf wie folgt vorzugehen:

- sind im 5 km-Umkreis die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung instabil ist,
 - sind im 20 km-Umkreis die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung vorzubereiten,
 - sind im 100 km-Umkreis die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden mindestens vorzubereiten,
 - ist im 200 km-Umkreis die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung stabil ist,
 - sind im 20 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung vorzubereiten,
 - sind im 100 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden mindestens vorzubereiten und
 - ist im 200 km-Halbkreis in Ausbreitungsrichtung die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten.
- Falls die Windrichtung stabil ist und Ausbreitungsrechnungen vorliegen,
 - sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis zu 20 km die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden durchzuführen und die spätere Evakuierung vorzubereiten,
 - sind im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis zu 100 km die Maßnahmen Iodblockade und Aufenthalt in Gebäuden mindestens vorzubereiten und
 - ist im Sektor in Ausbreitungsrichtung und den beiden benachbarten Sektoren bis zu 200 km die Iodblockade für Kinder und Schwangere vorzubereiten.

Anmerkung 1: Die Gebiete, in denen nach Tabelle 2 und 3 Maßnahmen vorbereitet oder durchgeführt werden, sollten an die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten wie Geländestruktur, Besiedlungsverhältnisse und Verwaltungsbereichsgrenzen angepasst werden.

Anmerkung 2: In jedem Fall ist die Situation weiterhin intensiv zu beobachten und das Lagebild gegebenenfalls anzupassen. Wenn RODOS verfügbar ist, sollte Ereignisklasse II als wahrscheinlichster Quellterm angenommen werden. Sollten die Ausbreitungsrechnungen mit dem angenommenen Quellterm aufgrund der Wetterlage größere Gebiete für frühe Schutzmaßnahmen als in Tabelle 2 und 3 ausweisen, so empfiehlt die SSK die Schutzmaßnahmen auf diese größeren Gebiete auszuweiten.

Anmerkung 3: In Kapitel 3 sind die Maßnahmen nach dieser Empfehlung 2 auch in tabellarischer Form (Tabellen 2 und 3) dargestellt.

Anmerkung 4: Die Notwendigkeit einer späteren Evakuierung hängt von der nach Durchzug der Wolke gemessenen ODL ab.

Empfehlung 3: Wenn bei der Alarmierung ein schneller Ablauf des Unfalls angekündigt wird oder wenn bei der Alarmierung die Freisetzung bereits begonnen hat, ist die Maßnahme Evakuierung der 5 km-Zentralzone aus radiologischer Sicht nicht vertretbar. In diesem Fall bleiben nur die Durchführung der Maßnahmen Aufenthalt in Gebäuden und, falls eine Vorverteilung von Iodtabletten erfolgt ist, die Iodblockade. Die Evakuierung kann dann erst nach Ende der Freisetzung bzw. nach Durchzug der radioaktiven Wolke auf der Grundlage gemessener Ortsdosisleistungen erfolgen.

Empfehlung 4: Bei einem drohenden oder erfolgten Kernschmelzunfall im europäischen Ausland ist in der Vorfreisetzungsphase gemäß Empfehlung 2 vorzugehen. Für den Fall, dass keine Quelltermprognosen aus dem Ausland übermittelt wurden, sollte ungefilterte Druckentlastung, d. h. Ereignisklasse II, als wahrscheinlichster Unfallablauf und Ereignisklasse III als schwerwiegendster Unfallablauf angenommen werden.

Empfehlung 5: Bei einem drohenden oder erfolgten Kernschmelzunfall im weiter entfernten Ausland (mehr als 200 km) ist in der Vorfreisetzungsphase wie folgt vorzugehen. Es ist nicht zu erwarten, dass aufgrund eines Kernschmelzunfalls im weiter entfernten Ausland, in Deutschland frühe Schutzmaßnahmen erforderlich werden. Daher entfällt die Dringlichkeit, die die Vorfreisetzungsphase charakterisiert. Die Notwendigkeit und Eignung von Schutzmaßnahmen sollte auf der Grundlage von Prognosen oder Messungen der Radioaktivität in der Umwelt unter Beteiligung des SSK-Krisenstabs oder der SSK geprüft werden.

5 Literatur

- Hage und Löffler 2017 Hage M, Löffler H. Weiterentwicklung eines Analysewerkzeugs zur Quelltermprognose. GRS 455, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, März 2017, ISBN 978-3-946607-37-3
- HERCA-WENRA 2014 Heads of the European Radiological protection Competent Authorities (HERCA) and Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA). HERCA-WENRA Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident. Stockholm, 22 October 2014, <http://www.herca.org/uploaditems/documents/HERCA-WENRA%20approach%20for%20better%20cross-border%20coordination%20of%20protective%20actions%20during%20the%20early%20phase%20of%20a%20nuclear%20accide.pdf>, zuletzt aufgerufen am 08.01.2019
- Löffler et al. 2010 Löffler H, Mildenerberger O, Sogalla M, Stahl T. Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb -Vorhaben S3609S60009. Auftragnehmer: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), Köln. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz. BfS-RESFOR-48/12, urn:nbn:de:0221-201202017259, Salzgitter, Februar 2012
- NAIIC 2012 The National Diet of Japan Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission (NAIIC). The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. Executive summary. Published by The National Diet of Japan, 2012, http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naiic.go.jp/wp-content/uploads/2012/09/NAIIC_report_lo_res10.pdf , zuletzt aufgerufen am 08.07.2019
- Sandia National Laboratories 2005 Sandia National Laboratories (SNL). MELCOR Computer Code Manuals, Vol. 1: Primer and User's Guide. Version 1.8.6, NUREG/CR-6119, SAND 2005-5713, Vol. 1, Rev. 3, NM, USA 2005
- RSK und SSK 2013 Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) und Strahlenschutzkommission (SSK). Kriterien für die Alarmierung der Katastrophenschutzbehörde durch die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen. Gemeinsame Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission und der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 366. Sitzung der RSK am 16.10.2003 und in der 186. Sitzung der SSK am 11./12.09.2003, Ergänzung verabschiedet in der 453. Sitzung der RSK am 13.12.2012 und der 260. Sitzung der SSK am 28.02.2013. Bekanntmachung im BAnz AT 09.10.2014 B1

SSK 2014a	Strahlenschutzkommission (SSK). Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 268. Sitzung der SSK am 13./14.02.2014. urn:nbn:de:101:1-201403101200. Bekanntmachung im Banz AT 21.05.2014 B4
SSK 2014b	Strahlenschutzkommission (SSK). Prognose und Abschätzung von Quelltermen bei Kernkraftwerksunfällen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 270. Sitzung der SSK am 17./18.07.2014. urn:nbn:de:101:12015020917940. Bekanntmachung im Banz AT 06.03.2015 B5
SSK 2015	Strahlenschutzkommission (SSK). Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20.02.2015. urn:nbn:de:101:1-201512213326. Bekanntmachung im Banz AT 04.01.2016 B3
StrlSchG 2017	Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist
Yasumura 2014	Yasumura S. Evacuation effect on excess mortality among institutionalized elderly after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Fukushima J Med Sci. 2014;60(2):192-5, doi: 10.5387/fms.2014-13

6 Glossar

FaSTPro	<u>F</u> ast <u>S</u> ource <u>T</u> erm <u>P</u> rognosis, FaSTPro ist eine Quelltermprognosesoftware, die nur bei einem schweren Unfall mit erwartetem oder bereits eingetretenem Kernschaden und bei Einberufung des Krisenstabs eingesetzt werden soll. (Hage und Löffler 2017)
FKA, FKI, FKF	Referenzquellterme der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS (Löffler et al. 2010)
HERCA	<u>H</u> eads of the <u>E</u> uropean <u>R</u> adiation <u>P</u> rotection <u>C</u> ompetent <u>A</u> uthorities ist ein Gremium, in dem die Leiter von 56 Strahlenschutzbehörden aus 32 europäischen Ländern Themen, die im Allgemeinen durch Bestimmungen des EURATOM-Vertrags abgedeckt werden, beraten und praktische Lösungen erarbeiten.
MELCOR	MELCOR ist ein Programmsystem, das von Sandia National Laboratories für die US-amerikanische Nuclear Regulatory Commission entwickelt wurde, um das Fortschreiten schwerer Unfälle in Kernkraftwerken zu modellieren. (Sandia National Laboratories 2005)
PSA	Die probabilistische <u>S</u> icherheits <u>a</u> nalyse untersucht die Risiken von Industrieanlagen mittels Wahrscheinlichkeitsrechnung und Systemanalyse. Sie beschäftigt sich damit, aufzuzeigen, welche Szenarien mit welcher Wahrscheinlichkeit und mit welchen Konsequenzen auftreten könnten.
RODOS	<u>R</u> eal-time <u>O</u> nline <u>D</u> ecision <u>S</u> upport <u>S</u> ystem, Entscheidungshilfe- und Prognosemodell, das in einem radiologischen Notfall die zukünftige Umweltkontamination und die zu erwartenden Dosen der betroffenen Personen berechnet.
SB	<u>S</u> icherheits <u>b</u> ehälter, wird auch als Reaktorsicherheitsbehälter (RSB) bezeichnet: Gasdichte Umhüllung um einen Reaktor damit keine radioaktiven Stoffe unkontrolliert in die Atmosphäre und Umgebung entweichen können.
Venturi-Nassfilter	Venturi-Nassfilter werden eingesetzt zum Stoffaustausch zwischen strömenden Gasen und Flüssigkeiten. Der nach dem Prinzip der Venturi-Düse arbeitende Nassfilter wird insbesondere zur Abscheidung von Stäuben aus Abgasen eingesetzt.
WENRA	<u>W</u> estern <u>E</u> uropean <u>N</u> uclear <u>R</u> egulators <u>A</u> ssociation, Zusammenschluss europäischer Atomaufsichtsbehörden, in dem sich die beteiligten Behörden über sicherheitsrelevante Aspekte des Betriebs kerntechnischer Einrichtungen und Anlagen austauschen.